

Postavte si laserový zaměřovač

P. Barták^{*}, J. Klier^{**}, M. Křenek^{***}

^{*}Slovanské gymnázium Olomouc, Jířího z Poděbrad 13

^{**}Gymnázium a SOŠ dr. Václava Šmejkala, Stará 99

^{***}Gymnázium Tišnov, Na Hrádku 20

bartakp08@seznam.cz, jiri06klier@gmail.com, shakis.krupis@gmail.com

Abstrakt

Bylo analyzováno laserové záření systému Er:YAG z pohledu vlnové délky, výstupního výkonu, délky pulzu a prostorové struktury. Laser generoval na vlnové délce 1645 nm s maximálním výkonem 174 mW s délkou pulzu 8,75 ms a opakovací frekvencí 10 Hz. Bezpečnost záření laseru byla prověřena zkouškou absorpce ve slané vodě.

1 Úvod

Technologie laseru je všudypřítomná a velmi užitečná. Díky jeho vlastnostem, jako je koherence, monochromaticnost, nízká rozbíhavost paprsků a vysoká hustota výkonu jej lze využít v medicíně, v dálkoměrech nebo v detekci plynů. Pro stavbu laseru je důležité aktivní prostředí, což může být kapalina, plyn nebo pevná látka, v našem případě krystal Er³⁺:YAG. Další nedílnou součástí je optický rezonátor, který se skládal ze dvou zrcadel. Dále systém obsahuje budící část spolu s chlazením.

Naším cílem bylo postavit Er³⁺:YAG laser, který by emitoval záření v infračervené oblasti a změřit jeho vlastnosti, jako jsou vlnová délka, výstupní výkon, délka pulzů a prostorová struktura.

2 Měřicí přístroje, experimentální uspořádání a postup měření

2.1 Měřicí přístroje

Čerpání – laserová dioda QPC Lasers s proudovým zdrojem LDC 1000 (Laser Electronics). Pulzní režim, vlnová délka při teplotě diody $T_{LD} = 26^{\circ}\text{C}$ byla $\lambda_{\text{pump}} = 1536 \text{ nm}$, délka pulsu $t_{\text{pump}} = 10 \text{ ms}$ a opakovací frekvence $f = 10 \text{ Hz}$.

Výkon čerpacího a generovaného záření – sonda PowerMax PM3 (Moletron) a wattmetr FiledMate (Coherent). Maximální naměřený výstupní výkon diody při budícím proudu $I_{LD} = 40 \text{ A}$ a teplotě diody $T_{LD} = 26^{\circ}\text{C}$ byl $P_{\text{max pump}} = 2,04 \text{ W}$.

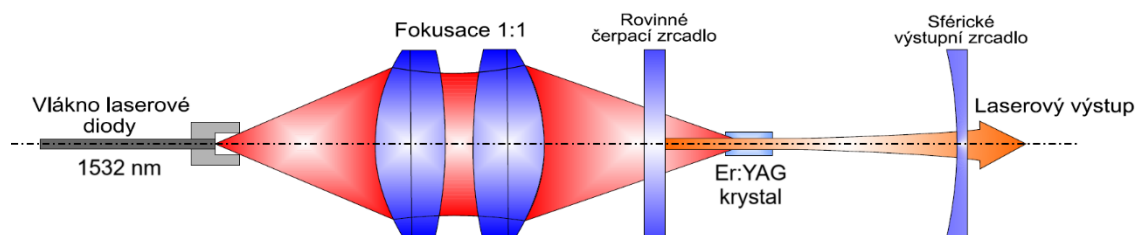
Časový průběh proudu laserovou diodou a generovaného záření – fotodioda PDA30B-EC (Thorlabs, spektrální rozsah: 800-1800 nm). Zobrazení na osciloskopu TDS2022C (Tektronix).

Spektrum čerpacího a generovaného záření – snímáno do optického vlákna zakončeného čočkou a přivedeno do spektrometru RedWave (StellarNet, spektrální rozsah: 900-2300 nm).

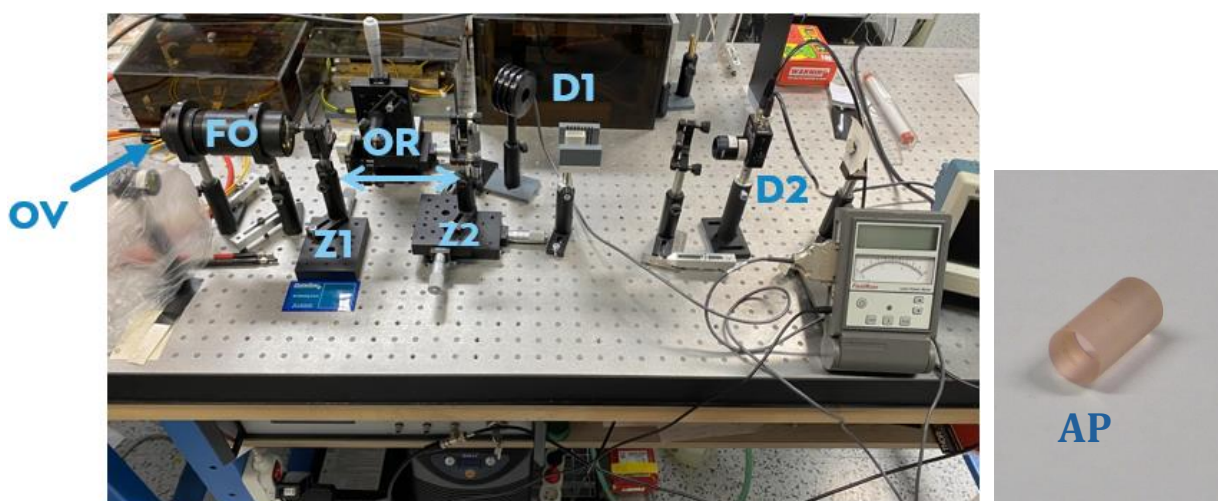
Prostorová struktura generovaného svazku – CCD pyrokamera PYROCAM IV (Ophir, spektrální rozsah: 1-3000 μm , velikost čipu: 25,4×25,4 mm², 320×320 pixelů).

2.2 Experimentální uspořádání a parametry laserového rezonátoru

Aktivní prostředí bylo tvořeno krystalickou maticí yttrito-hlinitého granátu dopovaného třímocnými ionty erbia Er^{3+} s koncentrací 0,5 at. % – $\text{Er}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (tj. Er:YAG z angl. *yttrium aluminium garnet*). Krystal měl tvar malého válce s následujícími rozměry: průměr 5 mm, aktivní délka v ose rezonátoru: 10 mm. Optický rezonátor byl tvořen dvojicí zrcadel – rovinné zrcadlo vysoce transparentní pro čerpací záření v okolí 1530 nm a zároveň totálně odrazné ve spektrální oblasti očekávaného generovaného záření, tj. 1600-1700 nm. Výstupní sférické (duté, konkávní) zrcadlo s poloměrem křivosti $r = 150$ mm mělo transmitanci v této části spektra $T \approx 4\%$ (tj. odrazivost – reflektivitu: $R \approx 96\%$). K nastavení rezonátoru jsme využili odrazy svazku He-Ne laseru ($\lambda_{\text{He-Ne}} \approx 633$ nm, červená barva) od prvků optického rezonátoru zpět na clonku umístěnou ve svazku He-Ne laseru. Zjednodušené schéma podélného čerpání aktivního prostředí Er:YAG v dutině optického rezonátoru pomocí laserové diody přes fokusační optiku je zobrazeno na Obr. 1. Fotografie zrealizovaného experimentálního uspořádání je uvedena na Obr. 2.



Obr. 1. Zjednodušené schéma experimentální sestavy. [1]



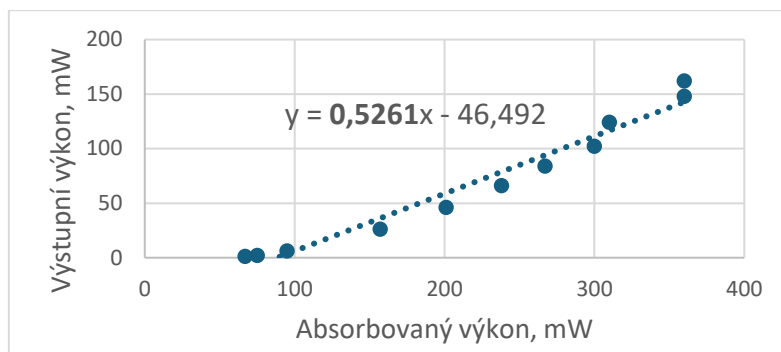
Obr. 2. Fotografie experimentálního uspořádání. OR – optický rezonátor, Z1 – zrcadlo čerpací, Z2 – zrcadlo výstupní, AP – aktivní prostředí, FO – fokusační optika, OV – optické vlákno z LD, D1 – detektor 1, D2 – detektor 2

3 Naměřené výsledky a diskuse

3.1 Měření výstupního výkonu a účinnosti Er:YAG laseru

Nejprve jsme změřili závislost výstupního výkonu Er:YAG laseru pro různé nastavované hodnoty výkonu čerpacího záření, přičemž maximální dosažený výstupní výkon byl $P_{\text{max out}} = 162$ mW při výkonu čerpacího záření $P_{\text{pump}} = 2,04$ W. Pro výpočet výkonu záření absorbovaném v aktivním prostředí bylo zapotřebí změřit i výkon čerpacího záření po průchodu vstupním zrcadlem (P_1 , tj. na vstupu do krystalu Er:YAG) a poté neabsorbovaný výkon čerpacího záření prošlého tímto aktivním prostředím (P_2). Výkon záření absorbovaného v krystalu byl následně odhadnut jako rozdíl těchto dvou hodnot: $P_{\text{abs}} = P_1 - P_2$ se započtením odrazu na čelech krystalu. Závislost

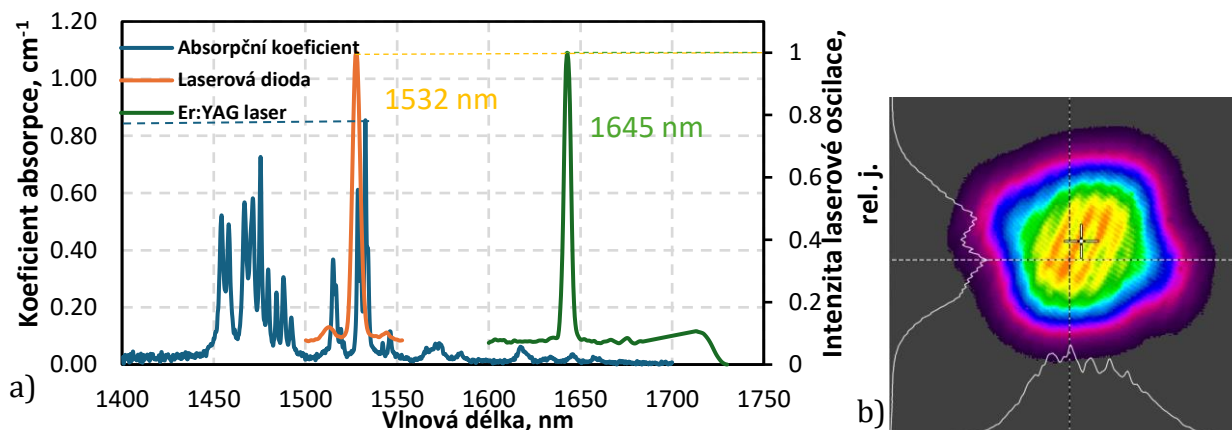
výstupního výkonu P_{out} na vypočítaném absorbovaném výkonu čerpacího záření P_{abs} je znázorněna na Obr. 3. Z naměřených hodnot vychází diferenciální účinnost sestaveného Er:YAG laserového systému na $\eta = 52,6\%$.



Obr. 3. Graf závislosti výstupního výkonu P_{out} na absorbovaném výkonu P_{abs} sestaveného laserového systému Er:YAG. Účinnost laseru: $\eta = 52,6\%$.

3.2 Měření prostorové struktury a spekter budícího a generovaného záření Er:YAG laseru

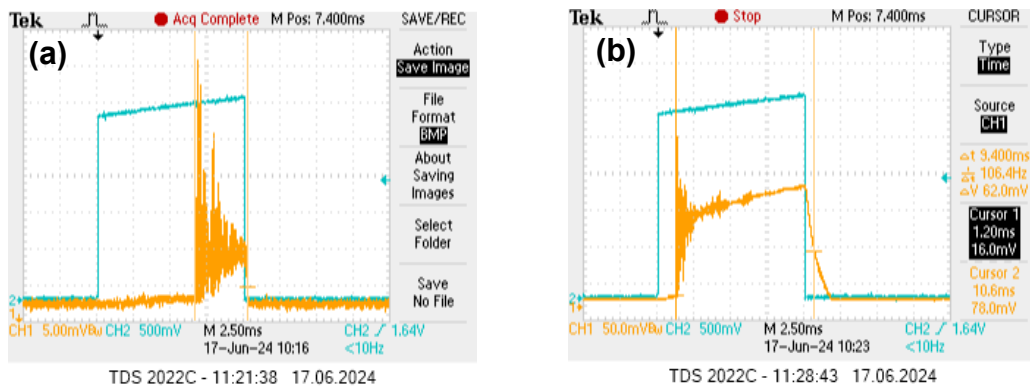
Pomocí vláknového spektrometru jsme změřili spektrum čerpacího a generovaného záření Er:YAG laseru. Centrální vlnová délka záření budícího laseru byla $\lambda_{pump} = 1532$ nm a generovaného záření Er:YAG laseru $\lambda_{laser} = 1645$ nm. Šířky spekter budícího a generovaného záření měřené na polovině maxima intenzity (FWHM – z angl. *Full Width at Half Maximum*) byly $\Delta\lambda_{FWHM\ pump} = 5,25$ nm a $\Delta\lambda_{FWHM\ laser} = 4,5$ nm (Obr. 4.a). Dále byla pomocí pyrokamery zaznamenána prostorová struktura generovaného laserového svazku (Obr. 4.b).



Obr. 4.a Naměřené absorpční spektrum (modrá), záření čerpací laserové diody 1536 nm (oranžová) a generovaného laserového záření Er:YAG laseru (zelená). Obr. 4.b Prostorová struktura laserového svazku.

3.3 Časový průběh generovaného laserového záření

Fotodiodou PDA30B-EC s odpovídajícími optickými filtry připojenou k osciloskopu byl zaznamenán časový průběh proudu budící laserovou diodou a generovaného záření. Záření bylo generováno se zpožděním zhruba $\sim 1,25$ ms po náběžné hraně proudu budící diodou. Délka pulzu generovaného záření naměřená na polovině maximální intenzity byla $\sim 8,75$ ms. Oscilogramy průběhů laserového záření z Er:YAG jsou uvedeny na Obr. 5.



Obř. 5. Časové průběhy generovaného laserového zářeni (kanál 1 - žlutě) a budícího proudu procházejícího laserovou diodou (kanál 2 - modře). Proud laserovou diodou (a) $I_{LD} = 8,5$ A; 3,6 ms (b) $I_{LD} = 40$ A; 9,4 ms.

4 Absorpce Er:YAG laserového zářeni v optickém systému simulujícím lidské oko

Na závěr jsme na optickém systému simulujícím lidské oko demonstrovali značnou absorpci generovaného zářeni v oblasti ~ 1645 nm, a tedy relativní bezpečnost tohoto zářeni před průnikem na oční sítnici. K tomuto účelu byly použity kyvety různých tloušťek (5, 10 a 30 mm) naplněné mírně slanou vlažnou vodou. Byl měřen výkon před a za těmito kyvetami a dopočítána absorpce. Za kyvetou o šířce 5 mm naměřen pokles výkonu z 174 mW na 9 mW, což odpovídá absorpci $\sim 94,8$ %. Za kyvetami o tloušťkách 10 a 30 mm byl naměřen výkon 2 mW a 0,8 mW.

5 Diskuse a závěr

Cílem naší práce bylo postavit Er³⁺:YAG laser, což se nám podařilo, protože vlnová délka odpovídala 1645 nm a výstupní střední výkon byl vyšší než předpokládaný. Délka pulzu 8,75 ms i prostorová struktura byly naměřeny ve shodě s očekávanými výsledky. Z měření absorpce zářeni ve vodě lze konstatovat, že generované zářeni nepoškodí sítnici při standardním průměru oka ~ 24 mm [1]. Při dlouhodobém vystavení oka tomuto zářeni však nelze vyloučit jiné trvalé oční vady například na rohovce a čočce.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat všem organizátorům a sponzorům Týdne vědy na Jaderce 2024 za možnost vyzkoušet si práci v laserové laboratoři, tvorbu vlastního článku, za prostředky pro jeho vytvoření a také A. Říhovi a M. Němcovi za vedení miniprojektu a konzultace při zpracování výsledků a při tvorbě příspěvku do sborníku.

Literatura

[1] ŠVEJKAR, R., ŘÍHA, A., NĚMEC, M., Postavte si laserový zaměřovač, [online, cit. 2024-06-18], Dostupné z: http://richardsvejkar.cz/assets/tyden_vedy_2024_navod.pdf